

TERMOELEKTRISKA UNDERSÖKNINGAR.

AKADEMISK AFHANDLING,

SOM MED TILLSTÅND AF VIDTBERÖMDA FILOSOFISKA FAKULTETEN I LUND

FÖR VINNANDE AF FILOSOFISK DOKTORSGRAD

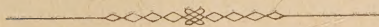
TILL OFFENTLIG GRANSKNING FRAMSTÄLLES

AF

AUGUST VILHELM TIDBLÖM,

FILOS. KAND., VESTG.,

Å FYSISKA AUDITORIET, LÖRDAGEN DEN 22 NOVEMBER 1873
KL. 10 F. M.



LUND,

BERLINGSKA BOKTRYCKERIET,
1873.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552409_0076

I.

1. Oaktadt talrika undersökningar af den termoelektriska strömmens förhållande till temperaturen blifvit anställda, måste denna fråga ännu anses oafgjord. Å ena sidan stå nämligen uppgifterna hos olika författare, oafsedt mindre skiljaktigheter, ofta i strid med hvarandra angående tillvaron af ett maximivärde för strömstyrkan. Å andra sidan äro dock de gjorda iakttagelserna tillräckligt öfverensstämmande för att visa, det den af H:r CLAUDIUS ur den mekaniska värmeteorien härledda lagen för den termoelektriska strömmen icke bekräftas af erfarenheten.

Då fortsatta undersökningar sålunda voro af behofvet påkallade, upptog jag denna fråga till behandling och framlägger härmed de resultat, till hvilka jag kommit. Härvid har jag först sökt bringa frågans experimentela sida i och för sig till klarhet. Då emellertid för vinnande af detta ändamål behörigt afseende måste fästas vid förut anställda undersökningar, har jag, innan jag öfvergår till framställningen af mina egna, i korthet redogjort för det viktigaste, som i frågan förut blifvit åtgjort. Vidare har jag sökt anordna mina experiment så, att ur dem möjligen ett uppslag kunde erhållas till förklaring af den ofvan påpekade motsägelsen mellan den för den termoelektriska strömmen uppställda teoretiska lagen och experimentellt gifna fakta.

Experimenten hafva blifvit anställda på Fysiska Kabinettet i Lund, och jag begagnar mig af detta tillfälle att betyga Institutionens Föreståndare, Herr Adj. K. A. HOLMGREN, min djupa tacksamhet för den godhet, med hvilken han understött mitt företag så väl genom värdefulla råd och upplysningar, som genom att fylla mitt behof af undersökningsmaterial.

2. Den termoelektriska strömmen observerades först af SEEBECK. Han fann att, om tvänne metalltrådar sammanfogades med sina ändar till en sluten bana och kontaktställena höllos vid olika temperatur, banan genomgicks af en elektrisk ström, hvars styrka var proportionel med temperaturdifferensen, så länge denna var liten. Blef den däremot betydlig, upphörde denna proportionalitet.

Kort därefter visade CUMMING att, om järn förenades med guld, silfver, koppar, mässing eller zink till ett termoelektriskt element, erhöles en ström, som vid det varmare kontaktstället gick till järnet, så länge temperaturen vid detta kontaktställe ej var mycket högre än vid det andra. Stegrades den däremot till glödhetta, hade strömmen en motsatt riktning. Den hade sålunda, under det att temperaturen vid ena kontaktstället alltjämt steg, först tilltagit, uppnått ett maximum, därefter minskats, upphört och slutligen ändrat riktning.

Genom direkta försök har BÉCQUEREL ¹⁾ uppvisat, att Voltas tensionslag låter tillämpa sig på den termoelektriska kraften. Han ²⁾ har därjämte undersökt den termoelektriska strömmens variation med temperaturen för icke få element. Han fann därvid strömmen växa hastigare än temperaturen, då elementen voro bildade af några af följande metaller: platina, bly, tenn, guld, silfver, koppar eller zink. Utgjordes däremot den ena metallen i elementet af järn, växte strömmen mindre hastigt än temperaturen.

HANKEL ³⁾ inskränkte sig till att undersöka den termoelektriska strömmen af element, som voro bildade af järn och en annan metall. Han fann för alla dessa ett maximivärde på strömstyrkan, inträdande vid följande temperatur: för elementet ZnFe ⁴⁾ vid 143° R, SnFe vid 167°, galv. CuFe vid 169°, AgFe vid 184°, Cu N:o 1 Fe vid 195°, AuFe vid 206°, Mässing Fe vid 235° och PbFe vid 235°—240°. Af de efter de gjorda observationerna uppdagna kurvorna slöt han, att maximivärden äfven förefinnas hos de strömmar som erhållas af elementen Au Mässing, AuCu N:o 2, ZnAg och Zn galv. Cu. Strömstyrkan bestämdes genom en Sinusbussol. Temperaturen uppmättes med en qvicksilfvertermometer intill 230° R,

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. XVII.

²⁾ Pogg. Ann. Bd. IX.

³⁾ Pogg. Ann. Bd. LXII.

⁴⁾ Detta beteckningssätt innebär i enlighet med antaget bruk, att ett element blifvit bildadt af de två metallerna och att den föregående metallen är den elektronegativa i termoelektriskt hänseende. Termoströmmen går sålunda vid det varmare kontaktstället från den föregående till den efterföljande metallen. Om strömmen vid temperaturens variation ändrat riktning, skall jag i det följande antyda detta genom att framför det tal som uttrycker strömstyrkan sätta ett minustecken.

därofvän medelst ett PtFe element. Detta hade han funnit gifva intill 230° R en ström proportionel med temperaturdifferensen, och han antog denna proportionalitet gälla till 400° R. Redan till följd af detta förfarande torde hans observationer vid högre temperatur vara mindre goda. Tager man därjämte i betraktande, att mot det använda uppvärmningssättet åtskilligt finnes att invända, så får man af hans undersökningar det intrycket, att de väl kunna någorlunda riktigt angifva formen af kurvorna för de af honom direkt undersökta strömmarne, men att de icke äro tillräckligt noggranna för att på dem Voltas tensionslag skulle kunna tillämpas.

Undersökningar af den termoelektriska strömmens variation med temperaturen hafva vidare blifvit anställda af H:r THOMSON ⁵⁾. Hans afsigt är dock blott att lära känna, vid hvilken temperatur strömmaximum inträder för de särskilda elementen. Denna temperatur kallar han elementets neutrala punkt. Den metod han vid sina undersökningar använde var följande. För att finna den neutrala punkten mellan t. ex. järn och koppar, tog han en järntråd om några fots längd och fastgjorde i hvardera änden af densamma en koppartråd, hvilka trådar sedan sattes i förbindelse med en galvanometer. Därefter uppvärmdes det ena kontaktstället mellan järnet och kopparen, så att en ström uppkom. Så snart denne hade blifvit tillräckligt tydlig, uppvärmdes båda kontakterna samtidigt dock så vidt möjligt med bibehållande af samma skilnad i deras temperatur. Strömmen började då förr eller senare att aftaga och slutligen upphöra. Halfva summan af de temperaturer kontakterna hade, då ingen ström ägde rum, angaf värdet på den neutrala punkten. På detta sätt fann han den neutrala punkten ligga för elementen Pt₃ Mässing vid -14° C, Pt₁Cd. vid -12° , AgAu vid -6° , Pt₁Au vid -3° , Pt₁Ag vid -2° Pt₁Zn vid $+8^{\circ}$, Sn Mässing vid $+33^{\circ}$, Pt₂Pb vid $+36^{\circ}$, Pt₂ Mässing vid $+38^{\circ}$ Pt₂ Sn vid $+44^{\circ}$, Pb Mässing vid $+44^{\circ}$, Hårdt stål Cd. vid $+57^{\circ}$, AgZn mellan $+47^{\circ}$ och $+71^{\circ}$ för olika silver- och zinktrådar, Pt₁Cu vid $+64^{\circ}$, AuZn vid $+71^{\circ}$ Pt₁ Mässing vid $+99^{\circ}$, Pt₁Pb vid $+121^{\circ}$, Pt₁Sn vid $+130^{\circ}$, FeCd vid $+163^{\circ}$ FeAu mellan $+223^{\circ}$ och $+254^{\circ}$, FeAg vid $+237^{\circ}$ samt FeCu vid $+280^{\circ}$. Pt₁, Pt₂ och Pt₃ voro olika platinatrådar. Metallernas ordning i hvarje element gäller för temperaturer högre än de respektive neutrala punkterna.

Den af H:r Thomson använda metoden synes mig vara mindre lyckligt vald. Vill man experimentelt undersöka, huru en storhet varierar med en annan, så söker man väl icke gärna att finna denna variation under omständigheter, då den så svagt som möjligt framträder. Men om en neutral punkt verkligen finnes, sker, äfven om

⁵⁾ Philosoph. Transactions of the Royal Society of London 1856.

metallerna ligga långt från hvarandra i tensionsserien, variationen i strömstyrkan i dess närhet så långsamt, att temperaturerna vid de båda kontaktställena böra vara mycket olika, om ett någorlunda godt resultat skall kunna erhållas. Också säger H:r Thomson själf ⁶⁾: "Sometimes the difference of temperatures used is so small as to give very slight indications of electro-motive force, even when the mean of the temperatures of the junctions differs widely from the neutral point, in which cases, of course, the test is deficient in sensibility." Dessutom är att beakta tvänne omständigheter, som kunna hafva utöfvat ett betydligt störande inflytande. Den första är att en galvanometer på några timmar kan betydligt förändra sitt jämvigtläge. Vid mina undersökningar har jag funnit denna nollpunktens variation hos den galvanometer jag begagnat vara tillräckligt stor att dölja den ström, som med ett ledningsmotstånd af omkring 2 Siem. och med en temperaturdifferens af 100° erhålles af ett SnPb element. Den andra och viktigaste omständigheten är den, att H:r Thomson vid sina undersökningar observerat den termoelektriska kraften icke mellan två utan mellan tre metaller. Som vi nämligen erinra oss, fastgjorde han, då han ville undersöka kombinationen CuFe, i hvardera änden af järntråden en koppartråd och uppvärmd sedan båda kontakterna CuFe. Voro nu dessa koppartrådar i elektriskt hänseende identiska, så var visserligen hans förfarande tillåtligt. Huru litet man dock i allmänhet kan antaga en sådan identitet äga rum, framgår tillräckligt af så väl andras som H:r Thomsons egna undersökningar af de förändringar i elektriskt hänseende, som metallerna undergå genom sträckning, prässning, hamring, härdning etc. Härtill kommer den inflytelse, som en, om än obetydlig, olikhet i den kemiska sammansättningen medför. H:r Thomsons undersökningar bära ock direkta spår af dylika inflytelser. Så finner han t. ex. för AgAu två så olika värden på den neutrala punkten som -6° och $+71^{\circ}$. Det bör dock anmärkas att H:r Thomson själf beaktat sistnämnda omständighet, i ty att "if possible" först den ena sedan den andra kontakten hållits vid högre temperatur. Tydligt är, att här berörda omständigheter äro af större betydelse ju svagare termostrommen i och för sig är. De fleste element, hos hvilka H:r Thomson funnit en neutral punkt, äro också bildade af metaller som ligga hvarandra nära i den elektriska tensionsserien.

En allsidigare behandling af frågan företogs af H:r GAUGAIN ⁷⁾. Han bibehöll det ena kontaktstället vid konstant temperatur. För uppmätande af strömstyrkan infogade han i ledningen ett BiCu element på det sätt, att den af detsamma alstrade

⁶⁾ På anförda ställe sid. 705.

⁷⁾ Ann. de Chimie et de Physique III Serie I. LXV.

strömmen gick i motsatt riktning mot den som skulle uppmätas. Då en afläsning skulle tagas, uppvärmdes kontakten BiCu, till dess en i ledningen insatt galvanometer intagit sitt jämvigtsläge. De båda strömmarne hade då samma styrka, och han fann sålunda det undersökta elementets termoelektriska kraft för en viss temperatur uttryckt i den termoelektriska kraften af elementet BiCu. De på detta sätt erhållna resultaten har han framställt genom kurvor. Af kurvornas form finner man omedelbart, huruvida man har att vänta ett strömmaximum. Tillvaron af ett sådant antydes därmed, att strömkurvan är konkav mot temperaturaxeln. Sådana har H:r Gaugain funnit kurvorna vara för följande element: PtFe, PbFe, SnFe, CuFe, ZnFe, AgFe och AuFe. Strömstyrkan af alla dessa element är betydlig. Maximipunkten faller för de fyra senare mellan 2 och 300°, för de tre första har den icke blifvit uppnådd. Kurvorna för elementen SnPb, BiCu, CuAu, AgAu och CuAg äro i det närmaste räta linier. Ofvan 200°, sålunda då tenn och vismut närma sig sin smältpunkt, förete kurvorna SnPb och BiCu en böjning mot temperaturaxeln. Vid 240° skär kurvan SnPb samma axel. Af sistnämnda fem element ger endast BiCu någon betydligare ström. Konvexa mot temperaturaxeln fann han åter kurvorna PtZn, PtCu, PbCu och CuZn. Enligt Voltas tensionslag skulle förhållandet blifva detsamma med kurvorna PtAg, PtAu, PtSn m. fl. Ehuru H:r Gaugain icke företagit några exakta mätningar vid högre temperatur än 300°, anser han dock, att de uppdragna kurvorna äfven utöfver denna gräns framställa förhållandet mellan strömstyrkan och temperaturen. Af hans undersökningar framginge då, att inga andra element än de, i hvilka järn är den ena metallen, skulle äga ett strömmaximum. Visst är emellertid att H:r Gaugain icke för andra element funnit något strömmaximum, så vida nämligen metallerna icke förändra sitt aggregationstillstånd.

Från det redan förut kända förhållandet att, om de två kontakterna i ett termoelektriskt element ligga med afseende på temperaturen lika långt ifrån och på ömse sidor om den temperatur vid hvilken strömmaximum inträder, ingen ström erhålles, ledde sig AVENARIUS *) till uppställande af den satsen, att den elektromotoriska kraften kan återgifvas genom en andra grads funktion af temperaturen eller att man kan sätta

$$E = a + bt + ct^2.$$

Då man för den andra kontakten med temperaturen t' har samma relation

$$E' = a + bt' + ct'^2,$$

*) Pogg. Ann. Bdd. CXIX och CXXII.

och dessa krafter verka i motsatt riktning, så är det deras skilnad, som åstadkommer den termoelektriska strömmen, för hvilken man sålunda erhåller uttrycket

$$i = b(t - t') + c(t^2 - t'^2),$$

under antagande af att ledningsmotståndet är lika med 1. Avenarius uppvisade äfven genom egna experiment giltigheten af sin sats. De undersökta elementen voro följande:

	<i>b</i>	<i>c</i>
AgFe	+ 3.29424	— 0.00737
CuFe	+ 0.9653	— 0.00475
PtPb	+ 0.035	+ 0.0046
PtPd	+ 3.3707	+ 0.000709
Nysilfver Stål	+ 0.002423	— 0.000000712
Zn Stål	— 0.004049	+ 0.000002295
ZnCu	+ 0.0000378	+ 0.0000007075
Cu Stål	— 0.004062	+ 0.000004606

Hafva konstanterna *b* och *c* samma tecken, växer strömmen oafbrutet med temperaturen, hafva de däremot olika tecken, uppnår strömmen ett maximum. Att Avenarius för elementen Zn Stål och Cu Stål finner *b* vara negativt, torde väl bero på något misstag, alldenstund H:r Prof. EDLUND⁹⁾ visat, att metallerna hafva samma ordning i den termoelektriska som i den kontaktelektromotoriska serien. Avenarius begagnade Wiedemanns Spegelgalvanometer för att uppmäta strömstyrkan, och han antog att hon var direkt proportionel med utslaget.

Af denna redogörelse finner man, att här berörde författare enstämmigt angifva, att alla undersökta element, i hvilka järn (eller stål) utgör den ena metallen, gifva en ström, hos hvilken man har att vänta, det ett strömmaximum och en riktningsförändring förr eller senare skola inträda. Hvad öfriga termoelektriska element däremot beträffar, har ett maximivärde för strömstyrkan blifvit direkt observeradt endast af H:r Thomson, och ehuru en och annan uppgift hos de öfrige författarne synes gifva stöd åt det resultat, som synes framgå af H:r Thomsons undersökningar, nämligen att ett maximivärde hos strömstyrkan är en för den termoelektriska strömmen tämligen genomgående egenskap, så antyda dock deras iakttagelser oftast så afgjort, att det är det motsatta förhållandet som äger rum, att man måste betrakta det såsom det mest sannolika.

⁹⁾ Kongl. Vetenskaps-Akademiens Handlingar Bd. IX. N:o 14.

3. Då jag härmed öfvergår till framställningen af mina egna undersökningar, så torde detta vara stället att anmärka, det dessa undersökningar afse den termoelektriska strömmens förhållande dels vid lägre, dels vid högre temperaturer, dels slutligen vid en hos endera af metallerna för sig gående aggregationsförändring.

Det af H:r Gaugain m. fl. använda förfaringssättet att uppmäta den termoelektriska strömmens styrka nämligen att jämföra den med en annan termoelektrisk ström syntes mig i flere afseenden olöpligt. Förutom den komplicering af apparaten, som en sådan metod medför, har den äfven en olägenhet i svårigheten att träffa temperaturerna så, att de elektromotoriska krafterna upphäfva hvarandra. Vidare kan man icke a priori antaga, att den termoelektriska kraften hos ett visst element alltid förblifver konstant, utan måste man för att vara förvissad därom esomoftast uppmäta den med något konstant mått. Det syntes sålunda fördelaktigare att direkt använda ett sådant mått. Härtill begagnade jag Meijersteins Spegelgalvanometer. Emedan nålarnes astasi ej var fullkomlig, lades en tredje magnet under galvanometern i magnetiska meridianens riktning. Astasien drefs dock ej längre än att galvanometern hade ett tämligen bestämdt, om än med tiden något varierande jämvigtsläge. För att eliminera det fel, som skulle uppstått genom en förändring i nollpunkten, skedde alltid vid hvarje observation flere omkastningar af strömmen. Att galvanometern icke var utsatt för några främmande, störande inflytelser af betydelse, anser jag mig kunna sluta däraf, att de å ömse sidor om jämvigtsläget observerade utslagen befunnos ligga om icke alltid precis dock ganska nära lika långt från den, tid efter annan iakttagna nollpunkten. Afläsningarne skedde med tub och skala.

Då en galvanometer endast efter förutgången gradering kan användas för att bestämma styrkan af en elektrisk ström, så företogs en sådan. Den utfördes på det sättet, att af en ström från en konstant stapel en gren leddes genom galvanometern. Då man vid detta tillfälle utan märkbart fel kunde antaga grenströmmens styrka proportionel med ledningsmotståndet i hufvudbanan mellan grenbanans båda anknytningspunkter, så hade jag genom att variera och uppmäta detta ledningsmotstånd ett enkelt och, som jag tror, tillförlitligt sätt att bestämma den relativa styrkan af de strömmar, jag sålunda lät genomgå galvanometern. Samtidigt iakttogos galvanometerutslagen. Observationerna läto sammanfatta sig i följande ekvation mellan strömstyrkan i och utslaget u :

$$i = 0.00310u + 0.00001778u^2 \text{ } ^1).$$

¹⁾ Vid af förekommen anledning företagen omgradering befans en härifrån något afvikande relation vara gällande i närheten af nollpunkten.

Konstanterna äro så valda, att för en utslagsvinkel af 45° eller för $u = 165.^{cm}5$, hvilket utgjorde spegelns afstånd från skalans nollpunkt, man erhåller $i = 1$. Ledningsmotsståndet i galvanometern var 2.06 Siem. Därjämte gjordes en bestämning af galvanometers reduktionsfaktor, och befans denna utgöra 0.060 i magnetiskt mått (d. v. s. för en ström af denna styrka gör galvanometern ett utslag af 45°). Denna bestämning äger dock ej den noggrannhet, som vore önskvärd.

De undersökta metalltrådarne voro alla sådane, som man i handeln erhåller, och sålunda antagligen föga kemiskt rena. Deras diameter varierade från $\frac{3}{4}$ till $1\frac{1}{2}$ millim. All sammanfogning skedde medelst klämskrufvar med de undantag som nedan nämnas. För att utröna huruvida sammanfogningssättet är af någon betydelse undersöktes ett element, i hvilket trådarne förenades dels genom klämskruf, dels genom lödning, dels slutligen genom klämskruf och med det hela omgifvet af ett gipslager. Endast i det sista fallet afvek utslaget från medium med en kvantitet större än observationsfelen. Sannolikt var orsaken därtill den, att kontakten då ej fullt uppnådde den temperatur, som termometern angaf.

Uppvärmningen var på följande sätt anordnad: i ett kopparkärl, fylldt med linolja, nedsattes ett dubbelviket kopparrör, innantill fodradt med glas. I ena armen af detta rör nedfördes de hopfogade metalltrådarne med kontakten nederst, i den andra en termometer. Rörets längd var så stor, att qvicksilfverpelaren i termometern ej höjde sig öfver detsamma och dess öppningar voro tillslutna med bomull för att afhålla luftdrag. Öfriga kontaktställen öfverlemnades åt fri inverkan af det omgifvande rummets temperatur. Jag ansåg mig härmed säkrast uppnå, att deras temperaturer ej blefvo märkbart olika. Från den vid kontakterna mellan olika metaller af strömmen alstrade temperaturförändringen torde man vid dessa undersökningar kunna bortse.

H:r REGNAULT ²⁾ anmärker till sina undersökningar af de termoelektriska strömmarne, att de erhållna värdena på strömstyrkan för ett och samma element ej alltid låta förena sig i en kurva. Vid företagna förberedande försök, hvarvid afläsningar gjordes ungefär för hvar femte grad, fann jag dock gången ganska jämn. I stället för att taga en mängd nära hvarandra liggande observationer ansåg jag mig därför snarare böra söka erhålla några få punkter så tillförlitligt som möjligt bestämda. Vid observationerna gick jag på följande sätt till väga. Sedan oljan i kopparkärlt blifvit medelst en gaslåga upphettad ungefär till den temperatur, vid hvilken en afläsning skulle tagas, modererades lågan i afsigt att hålla temperaturen konstant,

²⁾ Mémoires de l'Académie T. XXI. "De la mesure des Températures."

hvilket ock i det närmaste uppnåddes. Då jag hunnit förvissa mig häröf, afläste jag galvanometern, omkastade strömmen och afläste termometern. Så snart galvanometern hunnit intaga sitt nya utslagsläge, aflästes han ånyo, strömmen omkastades åter etc., och fortsattes sålunda några gånger. De i det följande anförda temperaturerna t och strömstyrkorna i äro alla media hvar och en af en dylik grupp afläsningar. Då linoljan vid 200° börjar utveckla stark ånga, kunde jag ej gå utöfver denna temperatur. Olägenheten häri anser jag dock till fullo uppvägd däraf, att observationerna erhålla en större tillförlitlighet genom detta uppvärmningssätt än genom användande af ett sandbad eller dylikt.

Som ofvan är nämnt uppstälde Avenarius mellan den termoelektriska strömmen och temperaturen följande relation:

$$i = (t - t') (b + c(t + t')).$$

Häraf erhålles

$$\frac{i}{t - t'} = b + c(t + t').$$

Likaledes för ett annat värde på t

$$\frac{i_1}{t_1 - t'} = b + c(t_1 + t'),$$

samt genom subtraktion af dessa båda ekvationer

$$\frac{i_1}{t_1 - t'} - \frac{i}{t - t'} = c(t_1 - t) \text{ eller}$$

$$\frac{\frac{i_1}{t_1 - t'} - \frac{i}{t - t'}}{t_1 - t} = c = \text{en af } t \text{ oberoende konstant.}$$

Då c är bekant erhålles b genom ekvationen

$$b = \frac{i}{t - t'} - c(t + t').$$

Eller detta schema har jag för hvarje undersökt element beräknat b och c och anför dem äfven här på samma sätt, så att i första kolumnen upptages den ena kontaktens (rummets) temperatur t' , i den andra den andra kontaktens temperatur t , i den tredje strömstyrkan i , i den fjärde c och i den femte b . Vid beräkningen af b har användts mediet af de erhållna värdena på c . Temperaturen är uttryckt i grader Celsius. Strömstyrkan är reducerad till ledningsmotståndet 4 Siemens.

De undersökta elementen äro följande:

PtCu.				
t'	t	i	c	b
10°	98.2°	0.0646	+ 0.00000189	+ 0.000492
„	139	1004		490
„	186	1526	194	494
„	202	1724	194	494
medium			+ 0.00000192	+ 0.000494

PtAg ₁ .				
10°	97°	0.0707	+ 0.00000246	+ 0.000554
„	138	1170		556
„	184	1762	215	543
„	204	2024	265	547
med.			+ 0.00000242	+ 0.000550

Pt Stål.				
10°	97.5°	0.1458	+ 0.00000007	+ 0.001655
„	140	2174		1654
„	184	2924	23	1660
„	199	3174	00	1658
med.			+ 0.00000010	+ 0.001657

Cu Stål.				
10°	99°	0.0903	- 0.00000205	+ 0.001254
„	139	1204		1256
„	184	1435	240	1246
„	204.5	1544	206	1248
med.			- 0.00000217	+ 0.001250

Ag ₁ Stål.				
10°	100.5°	0.0798	- 0.00000217	+ 0.001152
„	141	1040		1162
„	185	1488	264	1155
„	202	1224	253	1153
med.			- 0.00000244	+ 0.001155

Nysilfver Pt.				
10°	100°	0.0874	+ 0.00000080	+ 0.000875
„	139	1293		874
„	185	1820	83	872
„	195.5	1948	95	873
med.			+ 0.00000086	+ 0.000873

SnPb.

t'	t	i	c	b
10°	78°	0.0014	— 0.00000014	+ 0.000029
„	113	17	06	28
„	145	20	11	29
„	180	19		28
		med.	— 0.00000009	+ 0.000028

Tackjärn Cu.

För att komma i tillfälle att undersöka äfven tackjärnet lät jag gjuta en stång af detta ämne, något öfver en meter lång och omkring sex millimeter i diameter. Då koppartråden ej kunde fästas vid stängen med en klämskruf, emedan en sådan af härför erforderlig storlek ej kunde nedföras i kopparröret, virades koppartråden några hvarf fast om stängens ena ände. Undersökningen gaf:

t'	t	i	c	b
15°	56°	0.0240	+ 0.00000232	+ 0.000436
„	118	0751	205	450
„	155	1127	194	448
„	186	1480		443
		med.	+ 0.00000210	+ 0.000444

CuFe.

t'	t	i	c	b
15°	105°	0.1299	— 0.00000323	+ 0.001827
„	134	1577	315	1826
„	171	1923	321	1828
„	195	2080		1828
		med.	— 0.00000320	+ 0.001827

PtFe.

t'	t	i	c	b
17°	87.2°	0.1562	— 0.00000102	+ 0.002354
„	97	1772	109	2356
„	165	3169	162	2366
„	183.5	3515		2360
		med.	— 0.00000124	+ 0.002359

PtZn.

t'	t	i	c	b
17.5°	83°	0.0495	+ 0.00000239	+ 0.000507
„	121	0877	258	504
„	150	1222	248	506
„	179	1605		507
		med.	+ 0.00000248	+ 0.000506

PtSn.

t'	t	i	c	b
17.5 ^o	68 ^o	0.0210		+ 0.000307
„	88.5	315	+ 0.00000137	308
„	122.5	540	124	307
„	174.5	863	123	304
		med.	+ 0.00000128	+ 0.000306

PtPb.

t'	t	i	c	b
17.5 ^o	93.5 ^o	0.0353		+ 0.000323
„	114	473	+ 0.00000127	323
„	162.5	796	122	320
„	176	898	133	321
		med.	+ 0.00000127	+ 0.000322

Pt Mässing.

t'	t	i	c	b
18 ^o	71.5 ^o	0.0198		+ 0.000249
„	118.5	439	+ 0.00000142	253
„	157.5	682	133	252
„	185	877	131	251
		med.	+ 0.00000135	+ 0.000251

PtAg₂.

t'	t	i	c	b
16 ^o	84 ^o	0.0492		+ 0.000502
„	120.5	0844	+ 0.00000230	503
„	154	1215	215	504
„	191	1684	222	503
		med.	+ 0.00000222	+ 0.000503

PtAu.

t'	t	i	c	b
16 ^o	85 ^o	0.0400		+ 0.000401
„	122	0688	+ 0.00000187	403
„	156	0989	168	402
„	191	1344	177	402
		med.	+ 0.00000177	+ 0.000402

I afscende på noggrannheten i approximationen anmärkes, att afläsningarna på galvanometern återgifva strömstyrkan med fyra decimaler med ett sannolikt fel i sista decimalen af från ± 1 till ± 3 alt efter storleken af det använda ledningsmotståndet. Temperaturen är afläst i hela och halfva grader. Då fel af denna ordning i observationerna inverka på näst sista decimalen i värdet på c , så finner man, att de

ojämnheter, som i dessa värden förekomma, till största delen kunna härröra af observationsfel. Stundom synes c regelbundet växa eller aftaga med temperaturen. Men då äfven dessa variationer ej äro större, än att de låta förklara sig på samma sätt, äger man icke rätt att antaga, det i uttrycket för strömstyrkan borde tillfogas ännu en term.

De erhållna resultaten sammanföras här för bättre öfversigts skull på ett ställe. Elementen äro ordnade så, att de föregående metallerna följa från neg. till pos. i den ordning, de intaga i den termoelektriska tensionsserien. De element, i hvilka samma metall är den föregående, äro ordnade med afseende på de efterföljande metallerna efter samma grund. Fjärde kolumnen upptager kvoten $\frac{b}{c}$. Denna kvot, tagen med ombytt tecken, angifver summan af kontakternas temperaturer, då strömvändning skulle inträda, om de ur dessa observationer funna förhållandena mellan temperatur och strömstyrka låte utsträcka sig till hvarje temperatur.

Elementets namn.	b	c	$\frac{b}{c}$
Nysilfver Pt	+ 0.000873	+ 0.00000086	+ 4015
Pt Mässing	+ 251	+ 435	+ 486
PtSn	+ 306	+ 428	+ 239
PtPb	+ 322	+ 427	+ 254
PtAu	+ 402	+ 477	+ 227
PtCu	+ 491	+ 492	+ 256
PtAg ₂	+ 503	+ 222	+ 227
PtZn	+ 506	+ 248	+ 204
PtAg ₁	+ 550	+ 242	+ 227
Pt Stål	+ 4657	+ 010	+ 46570
PtFe	+ 2359	— 424	— 4902
Tackjärn Cu	+ 444	+ 210	+ 244
SnPb	+ 028	— 009	— 344
Cu Stål	+ 4250	— 247	— 576
CuFe	+ 4827	— 320	— 574
Ag ₁ Stål	+ 0.004455	— 0.00000244	— 473

Den strömvändning, som för flere af dessa element skulle inträda långt nedom termometerskalans nollpunkt, lemna vi här ur sigte, då det ej finnes något medel att experimentelt uppvisa densamma. Ett strömmaximum och en strömvändning vid en temperatur högre än 0° antyda observationerna för elementen SnPb, PtFe, Cu Stål, CuFe och Ag₁ Stål. För att finna, huruvida hos andra än ofvanstående kombinationer af de undersökta metallerna en strömvändning förefinnes eller är sannolik, har man att på de undersökta elementen tillämpa Voltas tensionslag. Då detta gan-

ska lätt låter verkställa sig, om man framställer förhållandet mellan temperaturen och strömstyrkan genom en kurva, har jag å medföljande plansch fig. 4 med gagnande af de erhållna värdena på b och c uppdragit kurvorna för de undersökta elementen.

Om man med H:r Gaugain låter $\frac{a-b}{t-t_1}$ beteckna den termoelektriska kraften hos ett element, bildadt af metallerna a och b , i hvilket kontakterna hafva temperaturerna t och t_1 så är enligt Voltas tensionslag, om c är en tredje metall, $\frac{a-b}{t-t_1} + \frac{b-c}{t-t_1} = \frac{a-c}{t-t_1}$, och sålunda, om $\frac{a-b}{t-t_1} = \frac{a-c}{t-t_1}$, $\frac{b-c}{t-t_1} = 0$. Tillämpadt på strömkurvorna kan detta förhållande uttryckas sålunda: om kurvorna för två element, i hvilka samma metall utgör antingen den föregående i hvardera eller efterföljande i hvardera, skära hvarandra vid en viss temperatur, så gifva de båda andra metallerna, sammansatta till ett element, en kurva, som vid samma temperatur skär temperaturaxeln, och sålunda strömmar i motsatta riktningar, alt efter som temperaturen stiger eller faller. På de å figuren uppdragna kurvorna finnes ingen sådan skärningspunkt. Men väl böra kurvorna PtFe och Pt Stål skära kurvorna PtAg₁, PtZn m. fl., om de hvar för sig fortsättas. Kurvorna PtAg₁, PtZn, PtAg₂, PtCu, PtAu, PtPb, PtSn och Pt Mässing framgå på ett sätt, som icke gifver anledning att antaga, det de skola råkas. Tvärt om hafva dessa kurvor, och med dem kurvan Tackjärn Cu, nästan samma böjning. För att finna detta har man blott att taga i betraktande de i tabellen å föregående sida upptagna kvoterna $\frac{b}{c}$. De inversa värdena af dessa kvoter äro:

	$\frac{c}{b}$	Afvikelse från med.
PtAg ₁	0.00440	+ 7
PtZn	490	- 43
PtAg ₂	444	+ 6
PtCu	394	+ 56
PtAu	440	+ 7
PtPb	394	+ 53
PtSn	418	+ 29
Pt Mässing	538	- 91
Tackjärn Cu	0.00473	- 26
medium	0.00447	

Man kan sålunda närmelsevis för element af dessa metaller sätta

$$i = b(t - t') (1 + 0.00447(t + t')).$$

Att man dock ej kan betrakta ofvanstående relation såsom en för denna grupp af metallerna gällande fysisk lag, framgår däraf, att afvikelserna från medium äro för stora för att kunna lemnas utan afseende. Strömmar från element, som äro bildade af i tensionsserien hvarandra nära liggande metaller, kunna sålunda lätt afvika från i fråga varande relation. Exempel härpå hafva vi ock i elementet SnPb, som, flere gånger undersökt, alltid gaf en ström, hvilken efter uppnådde 450° förblef ungefär konstant. Någon större vikt kan jag dock ej tilldela denna omständighet, då tennets smältpunkt ligger mycket lågt, och en vid närmandet till densamma möjligen försiggående om än obetydlig förändring i tennets termoelektriska egenskaper kan på den ytterst svaga strömmen utöfva ett märkbart inflytande. Det finnes ock många andra orsaker, som så inverka på metallerna, att en afvikelse från denna relation kan uppstå. Såsom exempel härpå vill jag ur mina anteckningar anföra följande: De i fig. 3 uppdragna kurvorna hamrad ZnZn erhöles hvardera af en särskilt zinktråd, hvars ena hälft var hamrad. Dessa kurvor äro betydligt olika, ehuru i experimentet ingen annan olikhet förefans, än att den ena zinktråden var afklipt och sammanfogad med en klämskruf, den andra fick behålla sitt naturliga sammanhang. I förra fallet erhöles den kurva, som skär axeln. Då man svårligen kan skydda sig för här antydda störande omständigheter, så kan redan för den skull nyssnämnda relation mellan strömstyrkan och temperaturen anses endast approximativt angifva strömmens variation för denna grupp af metallerna, utan att i de enskilda fallen vara strängt tillämplig.

Om man bortser från det föga betydande förhållandet, att strömmen af SnPb elementet icke vidare tillväxer, då temperaturen uppnått 450° , framgår såsom resultat af dessa undersökningar med afseende på ett maximivärde för strömstyrkan, att ett sådant icke, för så vidt man af de gjorda iakttagelserna kan döma, förefinnes hos andra element än dem, som äro bildade af järn eller stål och en annan metall. Då, såsom jag ofvan anmärkt, samma resultat framgår såsom det mest sannolika ur förut gjorda undersökningar, så anser jag mig berättigad att framställa det påståendet att *den termoelektriska strömmen i allmänhet växer med och hastigare än temperaturdifferensen*, och att sålunda *de fall då strömmmaximum och strömvändning inträda kunna betraktas såsom undantag*.

Den grad af kemisk renhet, hvari metallerna uppträda, är, som bekant, af icke ringa betydelse i termoelektriskt afseende. Dock synes en olikhet i den kemiska sammansättningen mindre inverka på strömkurvornas form än på metallernas plats i tensionsserien. Ett anmärkningsvärdt stort inflytande synes det i järnet befintliga kolet utöfva. Bland de af mig undersökta metallerna är det vanliga järnet den mest

elektropositiva. Redan stålet är icke obetydligt elektronegatift, jämfördt med järnet, och tackjärn tager i tensionsserien plats bredvid platina.

Styrkan af den termoelektriska strömmen för ett visst temperaturintervall erhålles, uttrykt i absolut mått, på följande sätt. Till enhet vid uppskattningen af strömstyrkan har, som nämnt är, valts en ström, som uppmätt i absolut mått är lika med 0.060. Genom att med begagnande af de värden på b och c , som finnas upptagna å sidan 13 enligt formeln $i = b(t - t') + c(t^2 - t'^2)$ beräkna i och multiplicera det erhållna resultatet med 0.06 erhålles den sökta strömstyrkan i magnetiskt mått. Sålunda finner man för en temperaturdifferens af 100° räknadt från 0° strömstyrkan vara för

PtFe	0.0134
Pt Stål	0.0100
CuFe	0.0090
Cu Stål	62
Nysilfver Pt	58
Ag ₁ Stål	55
PtAg ₁	48
PtZn	45
PtAg ₂	44
PtCu	41
Tackjärn Cu	39
PtAu	35
PtPb	27
PtSn	26
Pt Mässing	23
SnPb	0.0004

Då strömstyrkan är reducerad till ledningsmotståndet 1, angifva dessa tal också den termoelektriska kraftens storlek i magnetiskt mått (Siem. Web.). Till jämförelse meddelas följande af Avenarius gjorda uppmätningar. Talen gälla för samma temperaturintervall och äro uttrykta i samma mått, som de ofvanstående.

Nysilfver Stål	0.0239
Zn Stål	092
Cu Stål	105
Nysilfver Cu	0.0118

4. Angående den termoelektriska strömmens förhållande vid högre temperatur äro undersökningarna mycket ofullständiga. Merendeis inskränkas uppgifterna därtill, att strömmen tilltager eller ändrar riktning, utan att några närmare bestämmingar af temperatur eller strömstyrka företagits. Det syntes mig för den skull vara af icke ringa vigt att några mätningar på detta område företogos, på det att man

skulle kunna afgöra, huru långt den för ett mindre temperaturintervall funna relationen mellan temperatur och strömstyrka låte utsträcka sig. Då emellertid någon apparat för uppmätande af höga temperaturer icke stod till mitt förfogande, måste jag inskränka mig till att på indirekt väg och med en mindre tillfredsställande observationsmetod söka vinna några upplysningar uti i fråga varande afseende.

Observationerna anställdes sålunda. De två metalltrådarne blefvo vid det ena kontaktstället sammansnoddade några hvarf i stället för att som hittills förenas med en klämskruf. Detta kontaktställe utsattes för direkt uppvärmning af en gaslåga från en Bunsens brännare. Medelst kranen till gasröret modererades lågan lätt så att metallerna glödde med olika styrka. Jag sökte nu med ögat fixera vissa färgnyanser att begagnas såsom temperaturbestämningar. Dessa anföras nedan under följande namn: Börjande färg, Röd, Brandgul 1 och Brandgul 2. Då jag, så noggrant jag förmådde, frambragt en af dessa, afläste jag galvanometern. För att så mycket som möjligt motväga de misstag med afseende på färgen, som icke kunde undgås, togos flere observationsserier med samma element dels omedelbart efter hvarandra dels med några dagars mellanrum. Under dessa observationer intog galvanometern vanligen icke ett fixt utslagsläge utan oskillerade oregelbundet. Då afläsningarna sålunda icke hafva samma skärpa som de föregående, har jag här angifvit strömstyrkan med endast tre decimaler.

För att visa, huru stor noggrannhet i afseende på bestämmandet af färgnyansen, som kunde uppnås, vill jag här upptaga de observationsserier, som blifvit gjorda med elementet PtCu.

Börj. färg.	Röd.	Brandg. 1.	Brandg. 2.
4.024	4.395	4.711	2.121
4.042	4.332	4.714	
0.937	4.260	4.545	4.965
4.042	4.378	4.683	
0.993			
med. 4.000	4.344	4.664	2.043

Afvikelserna från medelvärdet inom hvarje grupp uppgå utom på ett ställe till högst fjärdedelen af skillnaden mellan de särskilda gruppernas medelvärden.

På efterföljande sidor anföras de sålunda tagna observationerna. I första kolumnen upptages rummets temperatur, i den andra färgnyansen, i den tredje strömstyrkan. Medelst ekvationen $i = (t' - t')(b + c(t + t'))$ och med begagnande af de värden på b och c , som förut blifvit funna för de särskilda elementen, har den

temperatur, vid hvilken den observerade strömstyrkan borde inträda, blifvit beräknad. Dessa temperaturer upptagas i den fjärde kolumnen.

Pt Stål.

t'	Färg.	i	t
44°	Börj. färg.	4.042	603°
„	Röd.	4.224	721
„	Brandg. 1	4.385	810
„	Brandg. 2	4.547	899
„		4.997	

Ag₁ Stål.

44°	Börj. färg.	— 0.239	624°
„	Röd.	— 0.449	720
„	Brandg. 1	— 0.669	806
„	Brandg. 2	— 0.844	866 Silfret smälter strax ofvan.

Cu Stål.

44°	Börj. färg.	— 0.043	596°
„	Röd.	— 0.164	674
„	Brandg. 1	— 0.387	789
„	Brandg. 2	— 0.557	864

PtAg₁

44°	Börj. färg.	4.280	625°
„	Röd.	4.622	715
„	Brandg. 1	2.107	828
„	Brandg. 2	2.426	896 Silfret smälter strax ofvan.

PtCu.

44°	Börj. färg.	4.000	608°
„	Röd.	4.344	719
„	Brandg. 1	4.664	814
„	Brandg. 2	2.043	913
„		2.437	

CuFe.

45°	Börj. färg.	— 0.030	573°
„	Röd.	— 0.072	597
„	Brandg. 1	— 0.126	624
„	Brandg. 2	— 0.179	645
„		— 0.263	

PtFe.

t'	Färg.	i	t
47°	Börj. färg.	0.976	758°
„	Röd.	1.484	
„	Brandg. 4	1.394	
„		2.022	

Vid efterföljande observationer hafva till fixa punkter valts färgnyanser, som svagt genomgått vissa kombinationer färgade glas och släkts med en liten förändring i glaskombinationerna ³⁾. Färgnyanserna betecknas med 1. 2. 3.

PtAg₁.

t'	Färg.	i	t
46°	1	1.804	759°
„	2	2.426	896 Silfret smälter strax ofvan.

PtAg₂.

t'	Färg.	i	t
46°	1	1.643	757°
„	2	2.200	894 Silfret smälter ofvan 944°.

PtCu.

t'	Färg.	i	t
46°	1	1.452	754°
„	2	1.949	882
„	3	2.324	982

PtAu.

t'	Färg.	i	t
46°	1	1.338	766°
„	2	1.721	884
„	3	2.122	989 Guldets smälter strax ofvan.

De af de fem första elementen ur första serien erhållna värdena på de särskilda färgnyansernas temperaturer äro:

³⁾ Vid valet af dessa observationsmetoder har jag utgått från det antagandet, att metallerna vid samma temperatur glöda med samma färg. All den stund, äfven om detta antagande vore fullt riktigt, metoden dock ej torde kunna användas till exakta mätningar, ansåg jag ej mödan värdt att söka åstadkomma någon för bestämmandet af färgnyansen bättre anordnad optisk apparat, särdeles som redan de använda observationsmetoderna syntes mig gifva för mitt ändamål tillräckligt noggranna resultat.

		B. f.	R.	Bg. 1.	Bg. 2.
Pt	Stål	603°	724°	810°	899°
Ag ₁	Stål	624	720	806	866
Cu	Stål	596	674	789	864
PtAg ₁		625	715	828	896
PtCu		608	719	814	913
med.		614° ⁴⁾	710°	809°	888°

Ur de fyra elementen i den andra serien erhålles

	1.	2	3
PtAg ₁	759°	896°	
PtAg ₂	757	894	
PtCu	754	882	982°
PtAu	766	884	989
med.	759°	887°	986°

Af öfverensstämmelsen mellan värdena på temperaturerna inom hvarje grupp torde man, i synnerhet som öfverensstämmelsen blir bättre med den något noggrannare observationsmetoden, vara berättigad att sluta, att den förutsättning, hvarifrån man vid deras beräkning har utgått, är riktig, nämligen att den relation mellan temperatur och strömstyrka, som för hvardera af dessa sju element befunnits gälla för lägre temperaturer, ännu bibehåller sin giltighet, då temperaturen stiger upp mot 1000°.

Beträffande de element åter, i hvilka järn är den ena metallen, visar sig en sådan förutsättning vara oriktig. Redan vid temperaturen för börjande färg skiljer sig den observerade strömstyrkan icke obetydligt från, hvad den skulle vara enligt den relation, som befunnits gälla för densamma vid lägre temperatur. Den vid hvardera af de högre färgnyanserna observerade strömstyrkan af elementet PtFe återgifves icke med något värde på temperaturen af denna relation. De äro alla större än densammas maximivärde, den största iakttagna ungefär dubbelt. Strömmarne af elementet CuFe äro till sitt numeriska värde mindre, sålunda såsom negativa äfven de större, än man enligt observationerna vid lägre temperatur skulle vänta. Här anmärkta afvikelser låta uttrycka sig på det sätt att för temperaturer

⁴⁾ Orsaken till olikheten mellan den af mig och andra experimentatorer (Pouillet, Draper) erhållna temperaturen för börjande färg torde ligga deri, att jag arbetat vid fullt dagsljus och med fina trådar, under det att ofvannämnde författare experimenterat med större massor och i mörkt rum, under hvilka omständigheter tydligen glödningen bör blifva förr märkbar.

öfver 500° sålunda under glödhetta tillkommer i uttrycket för strömstyrkan en tredje term, utgörande för

$$\text{CuFe} + 0.0000050 (t - 480^{\circ})^2$$

$$\text{PtFe} + 0.0000037 (t - 480^{\circ})^2.$$

De anförda siffrorna göra tydligen ej anspråk på någon större noggrannhet.

Kurvorna för de här undersökta elementen äro å fig. 2 uppdragna till omkring 1000° . De observerade punkterna antydda med ett kors, hvarvid såsom temperatur för den observerade strömstyrkan antagits medelvärdet för vederhörande färgnyans.

Af det här funna förhållandet, att åtminstone vissa metaller gifva en termoelektrisk ström, som återgifves af samma funktion af temperaturen vare sig denna är hög eller låg, torde man med fördel kunna begagna sig för att mäta temperaturen, då denna är mycket hög. Försök att använda den termoelektriska strömmen till dylika mätningar hafva också blifvit gjorda af, bland andra, POUILLET⁵⁾. För att bestämma metallernas smältpunkt begagnade han utom en lufttermometer äfven en apparat, som han kallat *pyromètre magnétique*, hvilken icke var något annat än ett termoelektriskt element, bildadt af platina och järn. Pyrometern graderade han genom att steg för steg jämföra den med lufttermometern. Klart är att, om man nödgas gå så till väga, vinsten af att begagna den termoelektriska strömmen för att mäta temperaturen är ganska ringa. Kan man däremot ur observationer, anställda mellan 0° och 300° , beräkna strömstyrkan för hvarje temperatur, blir här antydda förfaringssätt i användningen mycket enkelt. Med begagnande af Pouillets uppgifter om den termoelektriska strömmen från hans PtFe element erhåller man en kurva ganska väl öfverensstämmande med den af mig funna.

5. Jag öfvergår nu till att i korthet beröra de undersökningar jag företagit för att utröna, huruvida metallerna genom smältning lida någon förändring till sina termoelektriska egenskaper. Antydningar om att så sker finnas hos H:r Gaugain i ofvan citerade arbete. Han faun nämligen, att strömmen från ett CuZn element, ehuru den i början tilltog hastigare än temperaturen, dock vid en temperatur, öfverstigande zinkens smältpunkt, hade aftagit, liksom ock den tvära krökningen på hans kurva för elementet SnPb torde härröra af, att tennet smultit. Jag har i detta afseende undersökt metallerna tenn och zink och därvid funnit en ganska betydlig förändring i strömstyrkans förhållande till temperaturen inträda med smältningen. Som emellertid de hittills gjorda undersökningarna endast äro förberedande, och jag

⁵⁾ Comptes-rendus de l'Académie des sciences. T. III.

hoppas en annan gång kunna återkomma till detta ämne, vill jag nu blott anföra en serie, som tagits med ett element SnCu.

Af en tennstång nedsmältes en del i en järnskål, hvarefter stången lades så, att dess ena ände förblef i kontakt med den smälta massan. Tät intill detta kontaktställe nedfördes ändarne af en platina- och en koppartråd. På detta sätt var ett SnCu och ett PtCu element bildadt, hvilka, så snart temperaturen hade blifvit stationär på någon punkt, omväxlande sattes i förbindelse med galvanometern. Ur strömmen från PtCu elementet beräknades temperaturen. På detta sätt erhöles följande serie:

SnCu.			
t'	t	i	$\frac{i}{t-t'}$
45°	408°	0.0238	0.000256
„	174	0468	294
„	230	0694	323 Tennets smältpunkt.
„	284	0789	296
„	345	0956	290
„	427	1240	304
„	482	0.1491	349

Kvoten $\frac{i}{t-t'}$ stiger först med temperaturen till dess tennet uppnått sin smältpunkt,

hvarefter den sjunker för att återigen stiga. För temperaturer *lägre* än smältpunkten erhålles följande ekvation mellan strömstyrkan och temperaturen

$$i = +0.000488(t-t') + 0.00000055(t^2 - t'^2).$$

För temperaturer *högre* än smältpunkten

$$i = 0.000488(230 - t') + 0.00000055(230^2 - t'^2) \\ + 0.000449(t - 230) + 0.00000067(t - 230)^2.$$

Kurvan, som finnes återgifven å fig. 3, består sålunda af två hvarandra skärande parablar. Huruvida de löpa ut i en skarp spets eller ej, kan jag ej med dessa observationer afgöra. Det senare torde vara det mest sannolika.

I CuZn elementet nådde strömmen vid zinkens smältpunkt sitt maximum, hvarefter den aftog ungefär så, att strömkurvan blef symmetrisk i afseende på ordina-
tan, dragen genom maximipunkten.

6. De af mig experimentelt vunna resultaten kunna på följande sätt sammanfattas:

*Styrkan af den termoelektriska strömmen kan vid lägre temperaturer åter-
givas genom en andra grads funktion af temperaturen.*

För metallerna platina, tackjärn, mässing, tenn, bly, guld, koppar, zink och silver gäller approximativt funktionen

$$i = b(t - t')(1 + 0.00447(t + t')).$$

Såsom denna ekvation visar, växer strömmen af element, som äro bildade af ett par bland dessa metaller, hastigare än temperaturen. De fleste element åter, som äro bildade af järn eller stål och en annan metall, gifva en ström, som växer mindre hastigt än temperaturen. Hos många af dem uppnår han ett maximivärde och en vändpunkt.

Strömstyrkan återgifves genom samma funktion af temperaturen, så länge ingendera af metallerna förändrar aggregationstillstånd. Element bildade af järn och en annan metall göra undantag härifrån.

Då åter en af metallerna ändrar aggregationstillstånd, antager funktionen en annan form. I detta afseende hafva dock endast tenn och zink blifvit undersökta.

7. Det största intresset erbjuder den termoelektriska strömmen i sitt förhållande till den mekaniska värmeteorien. Ur denna teori har Hr Clausius ⁶⁾ härledt följande lag för den elektromotoriska kraftens förändring med temperaturen:

$$E = \varepsilon e \int \frac{Adt}{C},$$

der E betyder den elektromotoriska kraften, ε en konstant, beroende af de i kontakt försatta ämnens natur, e basen för de naturliga logaritmerne, A värmeekvivalenten för arbetsenheten och C den s. k. Carnots funktion. Genom att åt denna gifva den bestämda formen

$$C = A(a + t), \text{ hvari } a = 273,$$

öfverför han uttrycket för den elektromotoriska kraften till

$$E = \varepsilon(a + t).$$

Dessa uttryck innebära, att den elektromotoriska kraften varierar efter samma funktion af temperaturen, af hvilka ämnen elementet än är bildadt, det senare därjämte den närmare bestämningen, att den elektromotoriska kraften är proportionel med kontaktens absoluta temperatur. Då för dessa utvecklingar det antagandet ligger till grund, att den elektromotoriska kraften endast beror af temperaturen, och vi i det föregående nogsamtt hafva funnit, att hon *icke* varierar efter samma funktion af temperaturen i de olika elementen, så sluta vi, att hon *icke* beror endast af temperaturen.

⁶⁾ Clausius. Abhandlungen d. Mek. Wärmetheori. Braunschweig 1864—67. Abh. XII.

Ett annat antagande skulle kunna göras, nämligen att den elektromotoriska kraften varierar med temperaturen på ett för hvarje element egendomligt sätt, beroende af metallernas kemiska bestämndhet. Men äfven detta antagande motsäges af de af mig anställda undersökningarna. Vore nämligen den elektromotoriska kraftens variation med temperaturen gifven genom metallernas kemiska bestämndhet endast, så skulle denna variation ske efter samma funktion af temperaturen, vare sig metallerna uppträdde i fast eller flytande form. Men nu sker denna variation i elementet SnCu efter en helt annan funktion, då tennet är smält, än då det är i fast form. Samma förhållande har befunnits äga rum med elementet CuZn. Men på samma gång iakttagelserna öfver dessa element sålunda vederlägga nyssnämnda antagande, leda de ock till en riktig uppfattning af den elektromotoriska kraftens natur.

Jag kan här såsom ett bekant och bevisadt faktum återöpa det förhållandet, att en genom yttre inverkan åstadkommen molekularförändring, en olikhet i kristallisationen och dylikt medför en förändring i metallernas termoelektriska egenskaper. Efter att hafva påpekat denna omständighet yttrar H:r Clausius ⁷⁾: "Da demnach durch verschiedene Behandlung in den Theilen eines Metalles bleibend ein solcher Unterschied des Zustandes entstehen kann, dass sie sich in Bezug auf die Bildung von thermoelectrischen Strömen wie verschiedene Metalle verhalten, so ist es wohl keine unwahrscheinliche Annahme, dass auch durch Temperaturverschiedenheit vorübergehend ein solcher Unterschied hervorgerufen werden könne." Det var för att om möjligt vinna ett direkt experimentelt stöd för ett sådant antagande, jag undersökte elementen SnCu och CuZn före och efter tennets och zinkens smältpunkter. Och jag fann därvid att, då tennet eller zinken öfvergår från ett aggregations-tillstånd till ett annat, den funktion, som uttrycker förhållandet mellan strömstyrkan och temperaturen, ändrar form. Det kan icke vara tvifvel underkastadt, att man måste söka orsaken till denna vid en viss temperatur inträdande förändring i funktionsformen i den vid samma temperatur för sig gående betydliga förändringen i metallens disgregation. Vi finna sålunda, hvad H:r Clausius ofvan betecknade såsom ett icke osannolikt antagande, vara experimentelt bevisadt.

Men förändras nu den elektromotoriska kraften i ett fall med en af värmet åstadkommen disgregationsförändring, så har man allt skäl att antaga, det den med hvarje temperaturvariation inträdande disgregationsförändringen kan och bör inverka på den elektromotoriska kraften. Analytiskt kunna vi uttrycka detta förhållande så, att vi sätta

$$E = f(t, D),$$

⁷⁾ Anf. st. sid. 200.

der D , själfst en funktion af temperaturen, betyder disgregationen. Genom differentiation erhålles

$$\frac{dE}{dt} = \left(\frac{dE}{dt}\right) + \left(\frac{dE}{dD}\right) \cdot \frac{dD}{dt}.$$

Det är den första af de i högra membrum förekommande differentialkoefficienterna, $\left(\frac{dE}{dt}\right)$, som H:r Clausius undersökt och det resultat, till hvilket han kommit, nämligen $E = \varepsilon(a + t)$, säger, att denna differentialkoefficient är konstant. Den totala derivatan åter af E i afseende på t eller $\frac{dE}{dt}$ är den, som genom experimentela undersökningar erhålles. Hennes värde för en viss temperatur angifves af strömkurvas riktning för samma temperatur, och det inses omedelbart af sist anförda ekvation, att hon ej behöfver vara konstant för samma element eller för olika element variera på samma sätt med temperaturen.

Jag hoppas härmed hafva visat, så väl att man äger rätt att uppställa en ekvation mellan den elektromotoriska kraften, temperaturen och disgregationen, som ock att man därmed erhåller en tillfredsställande förklaring af den motsägelse angående den termoelektriska strömmens förhållande till temperaturen, som jag i början af denna uppsats antydde.

En närmare undersökning af, huru den elektromotoriska kraften beror af disgregationen, faller utom planen för denna uppsats. En omständighet vill jag dock påpeka, som synes mig egnad att styrka här förda resonnemang. Vi hafva funnit, att den termoelektriska strömmen i allmänhet växer hastigare än temperaturen. Detta innebär, att andra termen i högra membrum af sist anförda ekvation är positiv. Är åter elementet bildadt af järn eller stål och en annan metall, växer strömmen däremot i de flesta fall mindre hastigt än temperaturen och för dessa element är sålunda denna term negativ. Då i båda fallen $\frac{dD}{dt}$ är positift, så framgår att

den elektromotoriska kraften i allmänhet växer med disgregationen hos de i kontakt försatte metallerna. Hos de flesta element däremot, i hvilka järn eller stål utgör den ena metallen, aftager den med disgregationen. Förhållandet kan äfven uttryckas sålunda: genom tilltagande disgregation förökas afståndet mellan metallerna i den elektriska tensionsserien, utom hvad järn och stål beträffar, hvilka närma sig de i förhållande till dem elektronegativa metallerna. Såsom stöd för riktigheten af dessa slutsatser och de experimentela undersökningar på hvilka de hvila, vill jag anförå några undersökningar af H:r Thomson, hvilka finnas framställda i ofvan cite-

rade afhandling, tredje delen. De hafva till ändamål att utröna, huru metallernas termoelektriska egenskaper förändras genom mekanisk inverkan, och de gifva vid handen, att järnet förhåller sig på ett motsatt sätt mot andra metaller äfven i detta afseende. Han fann nämligen, att medan järn under longitudinel sträckning var elektropositift gent emot det fria, äro koppar och platina elektronegativa, medan järn, som genom longitudinel sträckning rönt en permanent förlängning, är elektro-negatift emot det, som icke undergått en sådan behandling, äro koppar och tenn elektropositiva, medan järn härdadt genom transversel hamring är elektronegatift emot det mjuka, äro koppar, platina, tenn, mässing, kadmium, bly och zink, transverselt hamrade, elektropositiva, etc. Angående stålet äro uppgifterna få och delvis obestämda, så att ur dem några säkra slutsatser icke kunna dragas. Det visar sig sålunda, att en disgregationsförändring, vare sig den åstad kommes genom värme eller på mekanisk väg, inverkar i termoelektriskt afseende olika på järn och på öfriga metaller.

Medan sista arket af denna uppsats ligger under prässen anländer (den 11 nov.) det sjunde häftet af Poggendorffs Annaler för innevarande år. Däri förekommer en afhandling af H:r Avenarius, i hvilken han, under antagande af att för uppträdandet af en elektrisk differens mellan två olika delar af en och samma ledare ingen särskilt molekularolikhet mellan dessa delar erfordras, utan att hvarje temperaturåtskillnad utgör en tillräcklig grund därför, ur den mekaniska värmeteorien härleder samma uttryck för den termoelektriska kraften, som han förut funnit framgå ur experimentela undersökningar, nämligen

$$E = (t_2 - t_1)(b + c(t_1 + t_2)).$$
